

**Список літератури:** 1. О механизме образования инкрустаций в дистиллере. Дрозин Н. Н., Овечкин Е. К., Куцина М. И. и др. Тр. НИОХИМ, т. XII, 1959. 2. *Лосев К., Баранов Ш., Левина Р., Химстрой*, №6, 71 (1934). 3. *Ворончихин В. Е.*, ЖХП, 13, 1486 (1936). 4. Методика исследования скорости образования гипсовых и карбонатных инкрустаций. Овечкин Е. К., Дрозин Н. Н., Куцина М. И. и др. Тр. НИОХИМ, т. XIII, 1961. 5. *Кирхнер Ю.* Производство соды по способу Сольвэ, Химтеорет, 1932.

*Поступила в редколлегию 13.02.2009*

**УДК 681.518.52**

**Б. А. МАЛИК**, канд. техн. наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

## **СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Рассмотрены вопросы создания первичных преобразователей в системах пожарной безопасности промышленных объектов. Проанализированы требования к таким преобразователям, возможности их реализации, предложен подход, основанный на использовании фотоприборов с зарядовой связью и микропроцессорной обработкой информации.

Розглянуті питання створення первинних перетворювачів у системах пожежної безпеки промислових об'єктів. Проаналізовано вимоги до таких перетворювачів, можливості їх реалізації, запропоновано підхід, що базується на використанні фотоприладів із зарядовим зв'язком та мікропроцесорним опрацюванням інформації.

Problems of sensing devices creation in fire safety systems of industrial objects are considered. These transducers' requirements, its application possibilities are analyzed. New approach based on charge-coupled photoinstruments and microprocessor-based information processing is proposed.

В системах, обеспечивающих безопасность промышленных предприятий в частности пожарную безопасность, одним из основных элементов определяющих их надежность являются первичные преобразователи

Информация с таких преобразователей (датчиков) в большинстве случаев поступает в подсистему обработки данных, которая может быть различной степени сложности – от простой логической схемы до универсального микропроцессорного устройства.

Обеспечение безопасности такими датчиками может идти по двум направлениям: использование их как элемент системы предупреждения об опасности и как безопасный элемент в системах контроля и предупреждения [1].

Любые физические явления, в том числе процессы самовозгорания, тления, пожара или взрыва, могут быть идентифицированы по ряду факторов, проявлением которых это явление сопровождается. Общим принципом работы всех автоматических устройств обнаружения загораний является измерение физических величин, связанных именно с этими факторами. Обычно факторы, применяемые для регистрации очагов пожара, делят на две группы: не связанные

с процессом тепломассопереноса в результате передвижения продуктов горения и связанные с ним.

Факторами, по которым может быть обнаружен очаг пожара (самовозгорания, взрыва), являются:

- изменение температуры (локальное повышение, динамика роста и флуктуации в месте возникновения и развития очага);
- изменение газового состава среды (повышение концентрации двуокиси и окиси углерода, углеводородов и других продуктов горения);
- изменение оптических свойств газовой среды (под воздействием тепловыделения очага локально изменяется температура и, как следствие, коэффициент преломления воздуха, кроме того, часть продуктов горения выделяется в виде дыма (аэрозоль), что в свою очередь ведет к появлению интенсивного ослабления и рассеивания световых лучей);
- изменение интенсивности и спектральных характеристик оптического защищаемого объекта;
- изменение спектральных характеристик акустического шума;
- изменение давления.

Датчики обнаружения очага пожара (пожарные извещатели) являются одним из основных элементов системы активной противопожарной защиты. По принципу работы их можно разделить на активные и пассивные; по виду определяемого фактора очага горения - на тепловые, дымовые, оптические (пламени). По типу используемого чувствительного элемента — на фотоэлектрические, барометрические, акустические, ионизационные, сейсмические, магнитоконтактные, электроконтактные, комбинированные.

Такое многообразие датчиков связано, во-первых, с наличием различных факторов пожара, а во-вторых, с наличием большого разнообразия типов объектов, подлежащих защите от загораний. Эффективность применения пожарных извещателей и их работоспособность зависят от оптимального выбора типа датчика, места его установки и условий эксплуатации.

Наиболее полно требованиям малой инерционности отвечают оптические датчики обнаружения очага загорания. Обнаружение загораний по излучению в оптическом диапазоне практически реализуемо лишь при пламенном горении материалов. Спектральный состав излучения, как и интегральная интенсивность излучения, изменяется по мере развития очага горения. При развитии загорания интенсивность излучения увеличивается и при пламенном горении, кроме этого, флуктуирует вследствие «мерцания» пламени. Частотный диапазон флуктуации (от единиц до нескольких десятков герц) зависит от размеров и формы пламени. Интенсивность излучения очага горения различна по направлениям. Характер изменения интенсивности излучения от направления (форма диаграммы направленности излучения) зависит от размеров и формы очага горения, размеров и формы пламени.

Информационными параметрами загорания являются: спектральный состав и интенсивность излучения, флуктуация интенсивности излучения. Обнаружение загораний по излучению пламени можно производить, измеряя его интенсивность в определенном спектральном диапазоне.

В настоящее время задача сводится не столько к обнаружению пламени, сколько к обеспечению достаточно сложной, учитывающей многие параметры окружающей среды, обработке изображений [2]. Существует несколько основополагающих принципов идентификации пламени, которые заключаются в частотной и спектральной селекции источников излучения.

В частотном принципе идентифицирующим признаком является наличие низкочастотных колебаний интенсивности излучения от очага пламени. При спектральной селекции идентификация пламени осуществляется по наличию в спектре излучения контролируемого источника спектральных полос, характерных для продуктов, образующихся при горении.

Основные функциональные параметры, принципы выделения излучения пламени на фоне оптических помех, логика электронной обработки первичных сигналов, эксплуатационные и конструктивные характеристики датчиков всецело определяются электрическими, фотоэлектрическими, оптическими и конструктивными особенностями приемника излучения.

Так, для реализации частотного принципа идентификации пламени необходимо иметь приемник излучения, способный фиксировать низкочастотные колебания пламени (от 2 до 20 Гц). Популярность частотного метода связана с тем, что в очагах пожара, как правило, имеют место низкочастотные колебания интенсивности излучения пламени, что удобно для приема, усиления и регистрации сигнала с таких простых преобразователей как фотодиод или фоторезистор. Определенным преимуществом обладают широкополосные приемники ИК-излучения. Однако, для надежного обнаружения и идентификации пламени они требуют длительного времени, которое можно сократить специальными режимами настройки ценой резкого снижения чувствительности и помехозащищенности. Частотный метод идентификации трудно реализуем при обнаружении тлеющих очагов пожара.

Для реализации принципа спектральной селекции, как правило, используется несколько приемников, способных реагировать на излучение в различных участках спектров излучения источников. Простейший вариант спектральной селекции состоит в том, что для приемника излучения выбирается узкий диапазон спектральной чувствительности, совпадающий с одной из спектральных полос излучения пламени. Более сложная комбинация приемников излучения позволяет регистрировать не только излучение пламени, но и излучение оптических помех. До последнего времени метод спектральной селекции применялся как дополнительная мера обеспечения помехозащищенности извещателей, для которых основным принципом обнаружения пламени оставался частотный.

Некоторые авторы [3, 4] в качестве приемника излучения применяют инфракрасный, многоспектральный, матричный полупроводниковый преобразователь на основе полиматричных кристаллических пленок из твердых растворов химических соединений групп  $A^4B^6$  и  $A^2B^6$ , например селенида свинца и кадмия. Главное достоинство этого преобразователя в том, что для его работы не требуется модуляции излучения от объекта обнаружения, а спектральные характеристики чувствительности каждого элемента совпадают с характерными спектрами излучения различных типов очагов пожара (рис. 1).

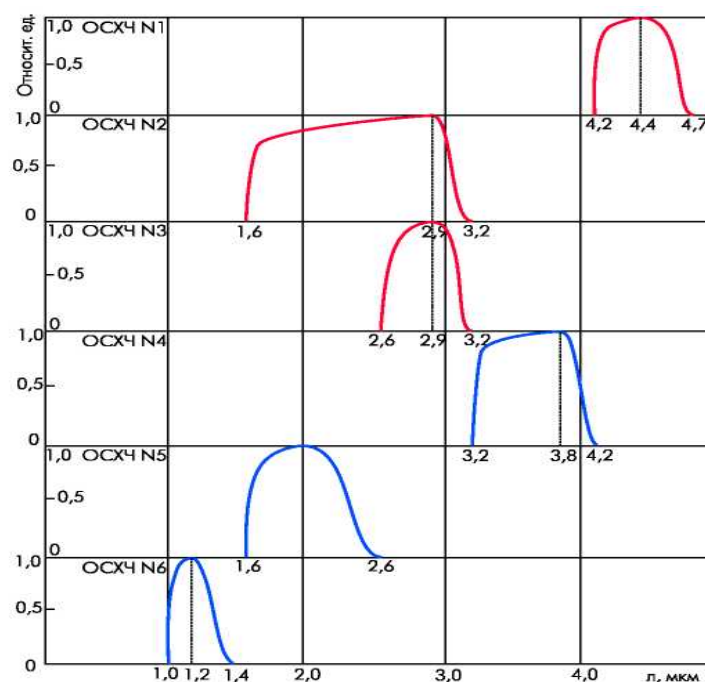


Рис. 1 - Относительные спектральные характеристики чувствительности (ОСХЧ) элементов многоспектрального полупроводникового матричного преобразователя

Это позволяет универсализировать подход к датчикам пламени и реализации требований к ним.

При этом одной из насущных проблем рассматриваемого технического направления является разнообразие требований, предъявляемых потребителями и необходимостью адаптации датчиков к ним. Вопросы оптимальной адаптации решаются созданием многочисленных вариантов конструкций и типов датчиков со специфическими и жестко определенными параметрами.

Наиболее перспективным можно считать применение универсальных широкополосных преобразователей способных воспринимать информацию с больших площадей и возможностью дифференциации по времени, пространству и спектру. Наиболее полно таким требованиям отвечают преобразователи на основе фотоприборов с зарядовой связью.

Благодаря широте своих функциональных возможностей они могут компенсировать недостатки других преобразователей, применяемых в настоящее время. Так инфракрасные извещатели пламени могут применяться только для обнаружения пожаров углеродсодержащих веществ. Они плохо приспособлены для обнаружения горения веществ, не содержащих углерод, например, таких как водород, сера или горючие металлы. Они уменьшают свою чувствительность и могут выработать ложный сигнал тревоги в присутствии мощного модулированного излучения от источников тепловой энергии. Ультрафиолетовое излучение достаточно интенсивно поглощается дымом, загрязняющими веществами, присутствующими в атмосфере и на оптической системе пожарного извещателя, а также газами и парами многих горючих веществ, среди которых можно отметить, например, аммиак, анилин, ацетон, бензол, бутиламин, дихлорбензол, ксилол, метилакрилат, метилметакрилат,

нитробензол, нитрометан, нитроэтан, нитропропан, пентанол, сероводород, стирол, толуол, трихлорэтилен, фенол, хлорбензол, этанол и др. Кроме того, такие извещатели пламени чувствительны к рентгеновским лучам, гамма-излучению и излучению, возникающему при электродуговой сварке, разряде молнии и высоковольтной дуге. Эти виды излучений могут стать причиной ложного срабатывания данного типа извещателей. В поле зрения извещателей пламени не должны находиться предметы, расположенные на пути распространения электромагнитного излучения от предполагаемого источника возгорания, в том числе стеклянные и полимерные поверхности, которые хоть и прозрачны, но существенно поглощают ИК и УФ-излучение.

В некоторых датчиках пламени, например, ДП-01 и ДП-02 используется технология оптического ИК спектрального анализа с цифровой обработкой частоты мерцания, что позволяет: а) обнаруживать пламя в начале возгорания, б) обнаруживать пламя на значительном удалении от датчика (дистанционно), в) обнаруживать пламя в локальных (строго определенных) зонах и иметь возможность включать системы пожаротушения только этих зон, г) снизить вероятность ложных срабатываний от прямых солнечных лучей, искусственного освещения, нагретых приборов, газовой сварки и т.п. до приемных уровней, д) обеспечить высокую надежность и работоспособность в любых рабочих и климатических условиях. Если проводить более общий анализ оптической информации на основе фотоприборов с зарядовой связью и микро процессорных устройств обработки изображений можно разработать пожарные извещатели, которые в зависимости от особенностей защищаемого объекта, ожидаемого характера возгорания, вида очага пожара и характеристик оптических фоновых помех, будут обеспечивать адекватную реакцию на внешнее излучение и решать задачи, решение которых существующими преобразователями было весьма затруднительно. Такие датчики, способны реагировать на наличие неколеблющегося пламени, например, пламени в газовых факелах или в очагах пожара с большой площадью возгорания, они могут использоваться при горении химических веществ, не содержащих углерод. При обнаружении очагов пожара вида ТП-2 и ТП-3 (тление древесины и хлопка) дают повышение чувствительности по отношению к очагам пожара вида ТП-1, ТП-4 и ТП-5 (горение древесины, полимерных материалов и горюче-смазочных материалов с выделением дыма), ТП-6 (горение горюче-смазочных материалов без выделения дыма). Благодаря широким возможностям извлечения и обработки информации можно достичь большого уровня помехозащищенности.

Решение этих задач возможно за счет того, что прием и прямое преобразование в электрическую энергию излучения от очагов пожара, первичных стадий взрывного процесса и фоновых оптических помех, формирование и выдача электрического сигнала о пожаре возложена на один широкополосный матричный преобразователь. Селективно выделяются полосы, которые соответствуют спектрам излучения от нескольких типов очагов пожара и соответствующие спектрам излучения фоновых оптических помех, например Солнцу, искусственным источникам освещения, излучению электросварки, нагревательных приборов.

Более совершенным вариантом такой системы могут служить системы использующие фотоприемники на приборах с зарядовой связью (ФПЗС) и микропроцессорной обработкой сигнала. Хотя не специализированные ФПЗС имеют не очень широкий спектр по сравнению со специально изготовленными узко спектральными преобразователями (рис. 2), их преимущества бесспорны благодаря большому количеству информации получаемой с этих датчиков с большим пространственным, временным и спектральным разрешением.

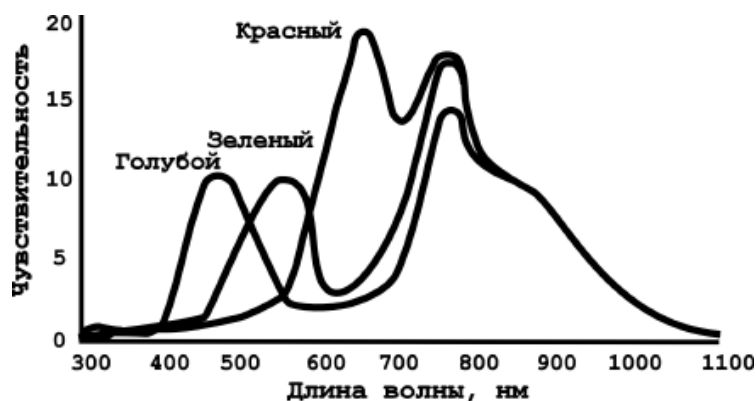


Рис. 2 - Относительные спектральные характеристики чувствительности (ОСХЧ) ПЗС преобразователя

Для того, чтобы очаг пожара был обнаружен простым извещателем пламени, в общем случае необходимо выполнение следующих условий:

- очаг должен находиться в пределах области обзора на расстоянии, не превышающем границы области чувствительности извещателя;
- чувствительность извещателя должна быть достаточной для регистрации разницы температур поверхности очага и фона.

Извещатели с использованием в качестве преобразователя матричных фотоприборов с зарядовой связью могут работать в более сложных условиях. Они способны идентифицировать изменение обстановки на локальных участках контролируемого пространства и выявлять источники возгорания в присутствии значительных помех в различных участках спектра электромагнитных колебаний.

Необходимая чувствительность извещателя основанного на одноэлементных преобразователях зависит от расстояния, типа источника возгорания, температуры горения топлива и времени, требуемого для установления теплового равновесия пламени.

Выражение для дальности обнаружения очага пожара определенным извещателем пламени для конкретного вида горючего материала и заданной площади возгорания имеет вид:

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{\tau_0 S_{on} S \varepsilon \cos \alpha \cos \varphi K \sigma T^4}{\pi B \Phi_{\min}}} [Z(\lambda_2 / \lambda_m) - Z(\lambda_1 / \lambda_m)],$$

где  $S_{on}$  — рабочая площадь поверхности оптической системы чувствительного элемента;  $S$  — площадь очага возгорания;  $\varepsilon$  — спектральный коэффициент излучения;  $K$  — коэффициент, учитывающий спектральный состав лучистого потока, излучаемого пламенем, спектральные характеристики чувствительного элемента и пропускания атмосферы;  $\sigma$  — постоянная Больцмана;  $T$  — температура

пламени;  $\Phi_{\min}$  – минимальный поток, который можно обнаружить (предельная чувствительность);  $B$  – коэффициент пропорциональности ( $B > 1$ ) между потоком излучения и предельной чувствительностью  $\varphi_{\alpha} = B \Phi_{\min}$ ;  $Z(\lambda/\lambda_m)$  – функции, учитывающие свойства оптических приборов в зависимости от спектра излучения ( $\lambda_1 - \lambda_2$ );  $\lambda_m$  – длина волны, соответствующая максимуму спектральной интенсивности плотности лучистого потока;  $\alpha$  – угол между нормалью  $N$  к элементарной площадке  $dS$  и оптической осью чувствительного элемента;  $\sigma$  – угол рассогласования.

На основании этого выражения можно сделать важный вывод о том, что дальность обнаружения очага возгорания для определенного извещателя пламени всегда пропорциональна корню квадратному из величины площади очага возгорания.

Поэтому, зная для данного пожарного извещателя значение его предельной дальности обнаружения стандартного очага возгорания, на основании этой формулы всегда можно рассчитать дальность обнаружения очага возгорания другой площади. Так, для определенного пожарного извещателя при всех прочих равных физических условиях будет справедлива следующая пропорция:

$$\frac{L_{\max test}}{\sqrt{S_{test}}} = \frac{L_{\max n}}{\sqrt{S_n}} \text{ или } \frac{L_{\max test}}{L_{\max n}} = \sqrt{\frac{S_{test}}{S_n}}$$

$L_{\max test}$  – максимальная дальность обнаружения пламени тестового очага возгорания для данного типа извещателя;  $S_{test}$  – площадь тестового очага возгорания;  $L_{\max n}$  – максимальная дальность обнаружения пламени очага возгорания площадью для данного типа извещателя;  $S_n$  – площадь очага возгорания.

Каждый извещатель пламени обладает определенным углом обзора, обусловленным физическими свойствами чувствительного элемента и механической конструкцией самого извещателя. Угол обзора в пространстве образует так называемую область обзора, которая в геометрической интерпретации для большинства извещателей пламени представляет собой конус, в вершине которого расположен чувствительный элемент извещателя. За пределами этой области детектирование пламени невозможно. Любой извещатель пламени имеет максимальную чувствительность вдоль его центральной оптической оси, которая уменьшается при отклонении источника излучения от этой оси и на границе области обзора большинства извещателей пламени составляет около 50 % от максимального значения. Эта особенность влияет на форму области чувствительности извещателя.

Граница области чувствительности представляет собой поверхность, форма которой является результатом тщательных тестовых испытаний извещателя со стандартными очагами возгорания. Удаленность этой границы от извещателя определяется его дальностью обнаружения очага возгорания определенной площади для заданного типа горючего вещества.

Границы областей чувствительности для очагов возгорания иных размеров всегда могут быть найдены на основании данных, полученных при тестовых испытаниях извещателя путем их пересчета согласно закону о пропорциональной

зависимости максимальной дальности обнаружения от корня квадратного из величины площади очага возгорания.

Для матричных ПЗС преобразователей выражение для дальности обнаружения может иметь вид:

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{S_{\text{пзс}} S \varepsilon \cos \alpha R K \sigma T^4}{\pi \Phi_{\min}}} [Z(\lambda_2 / \lambda_m) - Z(\lambda_1 / \lambda_m)],$$

где  $S_{\text{пзс}}$  - рабочая площадь ПЗС преобразователя,  $R$  - коэффициент преобразования оптической системы, учитывающий фокусное расстояние и светосилу объектива.

Так как информация, снимаемая с ПЗС датчика, обновляется десятки раз в секунду, а чувствительность превосходит во много раз чувствительность традиционных одноэлементных преобразователей, отпадает необходимость учитывать время, требуемое для установления теплового равновесия пламени. При этом происходит обработка всего изображения контролируемого пространства, что в большинстве случаев позволяет выделить даже низкоэнергетические полезные сигналы на фоне помех, благодаря чему часто требуемая чувствительность заведомо ниже реальной чувствительности преобразователя.

**Список литературы:** 1. Малик Б.А., Малик С.Б. Первичные преобразователи в системах обеспечения безопасности жизнедеятельности//Тези доповідей науково-методичної конференції "Безпека життєдіяльності". – Харків: НТУ"ХПІ", 2005.– С.70-72. 2. Паранько А.В. Первичные преобразователи в системах обеспечения безопасности технологических процессов 12-й Международный молодежный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке": Сборник материалов форума – Харьков: ХНУРЕ, 2008. – С.214. 3. Горбунов Н.И., Медведев Ф.К., Дийков Л.К., Варфоломеев С.П. Датчики для систем обеспечения пожаро-взрывобезопасности.- Датчики и системы, 2004.4. Патент USA № 005850182А от 15.12.98, Detector Electronics.

*Поступила в редколлегию 21.01.2009*